

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-176772

(43)Date of publication of application : 29.06.2001

(51)Int.Cl.

H01L 21/027

G02B 3/00

G02B 19/00

G03F 7/20

(21)Application number : 11-355879

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 15.12.1999

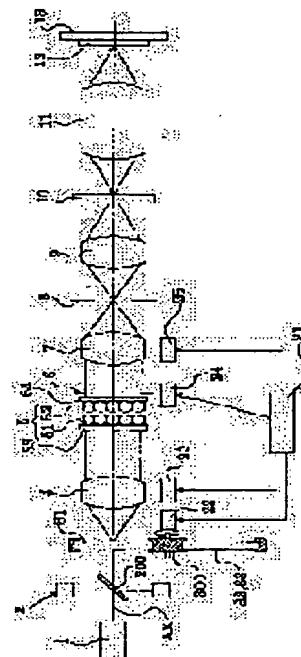
(72)Inventor : TANITSU OSAMU

(54) ILLUMINATION OPTICAL DEVICE AND PROJECTION ALIGNER EQUIPPED WITH THE SAME

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a projection aligner which appropriately prevents ununiform illuminance, due to a wave front separation type optical integrator and satisfies uniformity of illuminance and the constant numerical apertures on the surface to be irradiated at the same time.

SOLUTION: This aligner is provided with a light source means 1 for supplying an illumination light, a multiple light source formation means 5 for forming a number of light sources by using light fluxes emitted from the light source means, and a condenser optical system 7 for leading the light fluxes emitted from the light sources to surfaces 10 and 12, to be irradiated or a surface optically conjugate with the surface to be irradiated. The microlens elements in the wave front split type optical integrators 51 and 52 as a multiple light source formation means has at least one refractive surface, that is formed nonspherically symmetrically to substantially parallel axial line to a reference light axis AX, in order to obtain an almost uniform luminance on the surface to be irradiated.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision]

of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-176772

(P2001-176772A)

(43)公開日 平成13年6月29日(2001.6.29)

(51)Int.Cl.⁷

識別記号

F I

ターコード^{*}(参考)

H 0 1 L 21/027

G 0 2 B 3/00

A 2 H 0 5 2

G 0 2 B 3/00

19/00

5 F 0 4 6

19/00

G 0 3 F 7/20

5 2 1

G 0 3 F 7/20

5 2 1

H 0 1 L 21/30

5 1 5 D

5 2 7

審査請求 未請求 請求項の数8 O L (全 11 頁)

(21)出願番号

特願平11-355879

(22)出願日

平成11年12月15日(1999.12.15)

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 谷津 修

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

(74)代理人 100095256

弁理士 山口 孝雄

Fターム(参考) 2H052 BA02 BA09 BA12

5F046 BA04 BA05 CA04 CB01 CB13

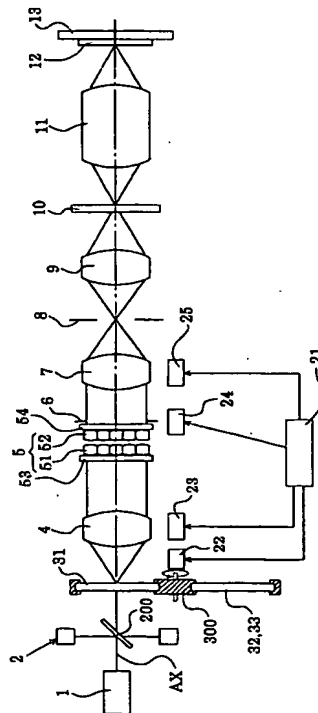
CB14 CB23 DA30

(54)【発明の名称】 照明光学装置および該照明光学装置を備えた投影露光装置

(57)【要約】

【課題】 波面分割型オプティカルインテグレータに起因する照度ムラの発生を良好に抑え、被照射面における照度の均一性と開口数の均一性とを同時に満たす。

【解決手段】 照明光を供給するための光源手段(1)と、光源手段からの光束に基づいて多数の光源を形成するための多光源形成手段(5)と、多数の光源からの光束を被照射面(10、12)または該被照射面と光学的に共役な面へ導くためのコンデンサー光学系(7)とを備えている。多光源形成手段としての波面分割型オプティカルインテグレータ(51、52)中の各微小レンズ要素は、被照射面上においてほぼ均一な照度を得るために、基準光軸(A X)に対して実質的に平行な軸線に関して対称な非球面状に形成された少なくとも1つの屈折面を有する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 照明光を供給するための光源手段と、該光源手段からの光束に基づいて多数の光源を形成するための多光源形成手段と、前記多数の光源からの光束を被照射面または該被照射面と光学的に共役な面へ導くためのコンデンサー光学系とを備えた照明光学装置において、

前記多光源形成手段は、多数の微小レンズ要素を有する波面分割型オプティカルインテグレータを有し、前記波面分割型オプティカルインテグレータ中の各微小レンズ要素は、前記被照射面上においてほぼ均一な照度を得るために、基準光軸に対して実質的に平行な軸線に関して対称な非球面状に形成された少なくとも1つの屈折面を有することを特徴とする照明光学装置。

【請求項2】 前記波面分割型オプティカルインテグレータは、前記基準光軸に対して実質的に平行な多数の軸線をそれぞれ光軸とする多数の合成光学系を有し、前記非球面状に形成された少なくとも1つの屈折面は、前記合成光学系におけるコマ収差の発生を良好に抑えるために、所定の非球面状に形成されていることを特徴とする請求項1に記載の照明光学装置。

【請求項3】 前記波面分割型オプティカルインテグレータの入射側に隣接して、前記被照射面上における照度ムラを補正するために所定の光透過率分布を有するフィルタが配置され、前記波面分割型オプティカルインテグレータと前記フィルタとを位置合わせするための位置合わせ手段を備えていることを特徴とする請求項1または2に記載の照明光学装置。

【請求項4】 前記波面分割型オプティカルインテグレータは、前記基準光軸に沿って間隔を隔てて配置された少なくとも2つの光学要素束を有し、前記少なくとも2つの光学要素束は、前記非球面状の光学面を有することを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の照明光学装置。

【請求項5】 前記少なくとも2つの光学要素束は、それぞれ前記軸線に沿って対応する少なくとも2つの微小光学要素からなる多数の合成光学系を有し、前記合成光学系中のすべての光学面は、互いに同じ性状を有する非球面状に形成されていることを特徴とする請求項4に記載の照明光学装置。

【請求項6】 前記少なくとも2つの光学要素束を互いに位置合わせするための位置合わせ手段を備えていることを特徴とする請求項4または5に記載の照明光学装置。

【請求項7】 前記波面分割型オプティカルインテグレータは、1000以上の前記軸線を有することを特徴とする請求項1乃至6のいずれか1項に記載の照明光学装置。

【請求項8】 マスク上に設けられたパターンをワーク

上へ転写する投影露光装置において、前記マスクを照明するための請求項1乃至7のいずれか1項に記載の照明光学装置と、前記マスクのパターンを前記ワーク上へ投影露光するための投影光学系とを備え、前記照明光学装置は、前記光源手段と前記多光源形成手段との間に配置されて、前記多光源形成手段へ入射する光束の光強度分布を変更するための光強度分布変更手段をさらに備えていることを特徴とする投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は照明光学装置および該照明光学装置を備えた投影露光装置に関し、特に半導体素子または液晶表示素子等を製造するための投影露光装置に好適な照明光学装置に関する。

【0002】

【従来の技術】たとえば半導体素子または液晶表示素子等をフォトリソグラフィ工程で製造する際に、マスクに形成された転写用のパターンを、投影光学系を介してウエハのような感光性基板上に転写する投影露光装置が使用されている。この種の典型的な投影露光装置においては、光源から射出された光束がフライアイレンズに入射し、その後側焦点面に多数の光源像からなる二次光源を形成する。二次光源からの光束は、フライアイレンズの後側焦点面の近傍に配置された開口絞りを介して制限された後、コンデンサーレンズに入射する。開口絞りは、所望の照明条件（露光条件）に応じて、二次光源の形状または大きさを所望の形状または大きさに制限する。

【0003】コンデンサーレンズにより集光された光束は、所定のパターンが形成されたマスクを重畳的に照明する。マスクのパターンを透過した光は、投影光学系を介してウエハ上に結像する。こうして、ウエハ上には、マスクパターンが投影露光（転写）される。なお、マスクに形成されたパターンは高集積化されており、この微細パターンをウエハ上に正確に転写するにはウエハ上において均一な照度分布を得ることが不可欠である。

【0004】近年においては、フライアイレンズの射出側に配置された開口絞りの開口部（光透過部）の大きさを変化させることにより、フライアイレンズにより形成される二次光源の大きさを変化させて、照明のコヒーレンシ σ （ σ 値＝開口絞り径／投影光学系の瞳径、あるいは σ 値＝照明光学系の射出側開口数／投影光学系の入射側開口数）を変化させる技術が注目されている。また、フライアイレンズの射出側に配置された開口絞りの開口部の形状を輪帯状や四つ穴状（すなわち4極状）に設定することにより、フライアイレンズにより形成される二次光源の形状を輪帯状や4極状に制限して、投影光学系の焦点深度や解像力を向上させる技術が注目されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】この種の投影露光装置では、最近の半導体素子等の集積度の向上に対応するために、感光性基板上の露光領域の全体に亘って極めて高い像均質性が要求されるようになってきている。すなわち、投影露光装置の照明光学装置では、被照射面である露光領域内において、照度の均一性および開口数の均一性の双方が極めて高いレベルで要求されている。

【0006】露光領域内における照度が均一でない場合、すなわち照度が露光領域内の位置に依存して変化する場合、露光量が不均一になり、その結果感光性基板上に形成されるパターンの線幅が不均一になる。また、露光領域内における開口数が均一でない場合、すなわち開口数が露光領域内の位置に依存して変化する場合、空間コヒーレンスが不均一になり、その結果感光性基板上に形成されるパターンの線幅が不均一になる。

【0007】一般に、従来の投影露光装置に用いられる照明光学装置では、被照射面において照度の均一性と開口数の均一性とを同時に満たすことができない。その結果、被照射面である感光性基板上に形成されるパターンの線幅が不均一になるという不都合があった。具体的には、後述するように、被照射面における開口数の均一性を満たしたとしても、波面分割型オプティカルインテグレートとしてのフライアイレンズの正弦条件違反量に起因して、被照射面において光軸から離れるにしたがって照度がほぼ二次曲線状に低下する照度ムラが発生する。

【0008】本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、多光源形成手段としての波面分割型オプティカルインテグレートに起因する照度ムラの発生を良好に抑え、被照射面における照度の均一性と開口数の均一性とを同時に満たすことのできる照明光学装置および該照明光学装置を備えた投影露光装置を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するために、本発明では、照明光を供給するための光源手段と、該光源手段からの光束に基づいて多数の光源を形成するための多光源形成手段と、前記多数の光源からの光束を被照射面または該被照射面と光学的に共役な面へ導くためのコンデンサー光学系とを備えた照明光学装置において、前記多光源形成手段は、多数の微小レンズ要素を有する波面分割型オプティカルインテグレートとを有し、前記波面分割型オプティカルインテグレート中の各微小レンズ要素は、前記被照射面上においてほぼ均一な照度を得るために、基準光軸に対して実質的に平行な軸線に関して対称な非球面状に形成された少なくとも1つの屈折面を有することを特徴とする照明光学装置を提供する。

【0010】本発明の好ましい態様によれば、前記波面分割型オプティカルインテグレートは、前記基準光軸に対して実質的に平行な多数の軸線をそれぞれ光軸とする多数の合成光学系を有し、前記非球面状に形成された少

なくとも1つの屈折面は、前記合成光学系におけるコマ収差の発生を良好に抑えるために、所定の非球面状に形成されていることが好ましい。この場合、前記非球面状に形成された少なくとも1つの屈折面は、前記合成光学系における球面収差の発生を良好に抑えるような非球面状に形成されていることが好ましい。

【0011】また、本発明の好ましい態様によれば、前記波面分割型オプティカルインテグレートの入射側に隣接して、前記被照射面上における照度ムラを補正するために所定の光透過率分布を有するフィルタが配置され、前記波面分割型オプティカルインテグレートと前記フィルタとを位置合わせするための位置合わせ手段を備えていることが好ましい。この場合、前記位置合わせ手段は、前記波面分割型オプティカルインテグレートに形成されたアライメントマークと、前記フィルタに形成されたアライメントマークとを有することが好ましい。

【0012】さらに、本発明の好ましい態様によれば、前記波面分割型オプティカルインテグレートは、前記基準光軸に沿って間隔を隔てて配置された少なくとも2つの光学要素束を有し、前記少なくとも2つの光学要素束は、前記非球面状の光学面を有することが好ましい。この場合、前記少なくとも2つの光学要素束は、それぞれ前記軸線に沿って対応する少なくとも2つの微小光学要素からなる多数の合成光学系を有し、前記合成光学系中のすべての光学面は、互いに同じ性状を有する非球面状に形成されていることが好ましい。

【0013】また、本発明の好ましい態様によれば、前記少なくとも2つの光学要素束を互いに位置合わせするための位置合わせ手段を備えていることが好ましい。この場合、前記位置合わせ手段は、前記少なくとも2つの光学要素束の各々に形成されたアライメントマークを有することが好ましい。また、前記波面分割型オプティカルインテグレートの入射側に隣接して、前記被照射面上における照度ムラを補正するために所定の光透過率分布を有するフィルタが配置され、前記位置合わせ手段は、前記少なくとも2つの光学要素束と前記フィルタとを位置合わせするために、前記フィルタに形成されたアライメントマークを有することが好ましい。

【0014】また、本発明の別の局面によれば、マスク上に設けられたパターンをワーク上へ転写する投影露光装置において、前記マスクを照明するための請求項1乃至7のいずれか1項に記載の照明光学装置と、前記マスクのパターンを前記ワーク上へ投影露光するための投影光学系とを備え、前記照明光学装置は、前記光源手段と前記多光源形成手段との間に配置されて、前記多光源形成手段へ入射する光束の光強度分布を変更するための光強度分布変更手段をさらに備えていることを特徴とする投影露光装置を提供する。

【0015】この場合、前記照明光学装置の瞳面の近傍には、ほぼ円形状の開口部を有する照明開口絞りのみが

配置されていることが好ましい。また、この場合、前記照明開口絞りは、前記ほぼ円形状を維持したままで開口径が可変に構成されていることが好ましい。

【0016】

【発明の実施の形態】まず、多光源形成手段として波面分割型オプティカルインテグレータを用いる照明光学装置において開口数の均一性を満足するための条件は、多数の光源からの光束を被照射面または被照射面と光学的に共役な面へ導くコンデンサー光学系の焦点距離を F とし、コンデンサー光学系に対する光線の入射角を θ としたとき、被照射面または被照射面と光学的に共役な面に入射する位置の光軸からの距離（像高） Y が次の式

(1) に示す射影関係を満足することである。

$$Y = F \sin \theta \quad (1)$$

【0017】ただし、従来技術にしたがう照明光学装置では、式(1)の射影関係を満たすようなコンデンサー光学系を用いる場合、多光源形成手段として用いられる波面分割型オプティカルインテグレータの正弦条件違反量に起因して、被照射面での照度の均一性を満足することができなかった。たとえば投影露光装置の照明光学装置において多光源形成手段として通常使用されるフライアイレンズは、両凸レンズ形状を有する多数のレンズエレメントからなる。このように、フライアイレンズの各レンズエレメントには球面状に形成された屈折面が2つしかないため、フライアイレンズは正弦条件を満足していない。

【0018】したがって、コンデンサー光学系の射影関係が前述の式(1)を満足している場合、フライアイレンズの正弦条件違反量に起因して、被照射面において光軸から離れるにしたがって照度がほぼ二次曲線状に低下する傾向がある。以上より、式(1)に示す $f \sin \theta$ の射影関係を満足するコンデンサー光学系を用いて開口数の均一性を確保しても、被照射面の中央から周辺にかけてほぼ二次曲線状に照度が低下する照度ムラが発生することがわかる。

【0019】そこで、本発明では、多光源形成手段として多数の微小レンズ要素を有する波面分割型オプティカルインテグレータを用い、各微小レンズ要素が基準光軸にほぼ平行な軸線に関して対称な非球面状に形成された少なくとも1つの屈折面を有するように構成して、被照射面上においてほぼ均一な照度を得ている。具体的には、波面分割型オプティカルインテグレータが基準光軸にほぼ平行な多数の軸線をそれぞれ光軸とする多数の合成光学系を有し、この合成光学系におけるコマ収差の発生を良好に抑えるように少なくとも1つの屈折面を所定の非球面状に形成している。

【0020】このように、本発明では、各微小レンズ要素に非球面を導入することにより、光学設計上のパラメータが増えるので、所望の設計解が得られ易くなり、特に収差補正の観点から設計自由度は著しく向上する。し

たがって、波面分割型オプティカルインテグレータにおいて、球面収差の発生を良好に抑えるだけでなく、正弦条件をほぼ満足することによってコマ収差の発生を良好に抑えることができる。その結果、多光源形成手段に起因する照度ムラの発生を良好に抑え、被照射面における照度の均一性と開口数の均一性とを同時に満たすことができる。

【0021】したがって、本発明の照明光学装置を組み込んだ投影露光装置では、被照射面である感光性基板の露光面における照度の均一性と開口数の均一性とを同時に満たすことができる。その結果、良好な露光条件のもとで、スループットの高い良好な投影露光を行うことができる。また、本発明の照明光学装置を用いて被照射面上に配置されたマスクのパターンを感光性基板上に露光する露光方法では、良好な露光条件のもとで投影露光を行うことができるので、良好なマイクロデバイス（半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等）を製造することができる。

【0022】本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。図1は、本発明の実施形態にかかる照明光学装置を備えた投影露光装置の構成を概略的に示す図である。なお、図1では、照明光学装置が通常の円形照明を行うように設定されている。図1の投影露光装置は、露光光（照明光）を供給するための光源1として、たとえば248nmまたは193nmの波長の光を供給するエキシマレーザ光源を備えている。光源1から基準光軸AXに沿って射出されたほぼ平行な光束は、整形光学系（不図示）を介して所望の矩形形状の断面を有する光束に整形された後、光遅延部2に入射する。

【0023】光軸AXに沿って光遅延部2に入射した光束は、ハーフミラー200を透過する光束とハーフミラー200で反射される光束とに分割される。ハーフミラー200で反射された光束は、たとえば矩形形状の遅延光路を形成するように配置された4つの反射ミラー（不図示）において順次偏向された後に、ハーフミラー200に戻る。遅延光路を1回経た後にハーフミラー200で反射された光束は、遅延光路を経ることなくハーフミラー200を透過した光束と同じ光軸AXに沿って射出され、2つの光束の間には遅延光路の光路長に等しい光路長差が付与される。

【0024】こうして、光遅延部2により、光軸AXに沿って入射する光束は、時間的に複数の光束に分割され、時間的に連続する2つの光束の間には遅延光路の光路長と等しい光路長差が付与される。ここで、付与される光路長差は、コヒーレント光源1からの光束の時間的可干渉距離以上に設定されている。したがって、光遅延部2により分割される波連においてコヒーレンシー（可干渉性）を低減することができ、被照射面における干涉縞やスペckルの発生を良好に抑えることができる。なお、スペckルの発生を良好に抑えるには、上述のよう

な光遅延部を光軸AXに沿って3段に配置することが好ましい。この種の光遅延手段に関するさらに詳細な構成および作用は、たとえば特開平1-198759号公報、特開平11-174365号公報、特願平11-21591号明細書および図面などに開示されている。

【0025】光遅延部2を介して時間的にインコヒーレントな多重のパルスに時間的に分割された光束は、回折光学素子(DOE)31に入射する。一般に、回折光学素子は、ガラス基板に露光光(照明光)の波長程度のピッチを有する段差を形成することによって構成され、入射ビームを所望の角度に回折する作用を有する。具体的には、円形照明用の回折光学素子31は、光軸AXに沿って入射した矩形状のほぼ平行な光束を、円形状の断面を有する発散光束に変換する。ところで、回折光学素子には被照明面における干涉縞やスペックルの発生を低減する効果があるので、場合によっては光遅延部2の設置を省略することもできる。

【0026】回折光学素子31を介した円形状の発散光束は、第1のコンデンサ光学系としてのズームレンズ4を介した後、一対のマイクロフライアイ51および52から構成された多光源形成手段5に入射する。こうして、多光源形成手段5の入射面(すなわち光源側のマイクロフライアイ51の入射面)には、円形状の照野が形成される。そして、形成される照野の大きさ(すなわちその直径)は、ズームレンズ4の焦点距離に依存して変化する。

【0027】なお、マイクロフライアイ51の入射面およびマイクロフライアイ52の射出面が光化学反応により汚染されるのを回避するために、マイクロフライアイ51の入射面およびマイクロフライアイ52の射出面に隣接して一対の平行平板53および54がカバーガラスとしてそれぞれ配置されている。したがって、光化学反応による汚染が起こったとしても、後述するように位置合わせ調整された一対のマイクロフライアイ51および52を交換することなく、一対のカバーガラス53および54だけを交換すればよい。

【0028】図2は、図1の多光源形成手段の構成を示す図であって、(a)は光軸AXに沿って見た各マイクロフライアイの構成を示す図であり、(b)は一対のマイクロフライアイの作用および断面形状を示す図である。各マイクロフライアイ51および52は互いに同じ基本構成を有し、図2(a)および(b)に示すように、縦横に且つ稠密に配列された多数の矩形状の正屈折力を有する微小レンズ要素500からなる光学素子である。各マイクロフライアイ51および52は、正方形の平行平面ガラス板501にエッチング処理を施して円形状の領域502に微小レンズ群を形成することによって構成されている。

【0029】一般に、マイクロフライアイ(光学要素束)を構成する各微小レンズ要素(各微小光学要素)

は、フライアイレンズを構成する各レンズエレメントよりも微小である。また、マイクロフライアイは、互いに隔絶されたレンズエレメントからなるフライアイレンズとは異なり、多数の微小レンズ要素が互いに隔絶されることなく一体的に形成されている。しかしながら、正屈折力を有するレンズエレメントが縦横に配置されている点でマイクロフライアイはフライアイレンズと同じである。なお、図1および図2では、図面の明瞭化のために、マイクロフライアイを構成する微小レンズ要素の数を実際よりも非常に少なく表している。

【0030】したがって、一対のマイクロフライアイ51および52に入射した光束は、多数の微小レンズ要素により二次元的に分割される。そして、図2(b)において実線で示すように、一対のマイクロフライアイ51および52において光軸AXに沿って対応する一対の微小レンズ要素51aおよび52aからなる合成光学系の後側焦点面(すなわち被照射面側のマイクロフライアイ52の射出面の近傍)にはそれぞれ1つの光源が形成される。なお、図2(b)において破線で示すように、一対のマイクロフライアイ51および52の前側焦点面が光源側のマイクロフライアイ51の入射面と一致するように構成されている。

【0031】こうして、一対のマイクロフライアイ51および52の後側焦点面には、光源側のマイクロフライアイ51の入射面に形成される照野と同じ円形状の多数光源(以下、「二次光源」という)が形成される。このように、一対のマイクロフライアイ51および52は、1つの波面分割型オブティカルインテグレータを構成し、ひいては光源1からの光束に基づいて多数の光源を形成するための多光源形成手段5を構成している。

【0032】ここで、ズームレンズ4は、その前側焦点面と回折光学素子31の回折面とが一致し且つその後側焦点面とマイクロフライアイ51の入射面とが一致するように、たとえば3倍の範囲に亘って焦点距離を連続的に変化させることが好ましい。したがって、ズームレンズ4は、光軸に沿って互いに独立に移動可能な3つのレンズ群を備えていることが好ましい。一対のマイクロフライアイ51および52の後側焦点面に形成された円形状の二次光源からの光束は、その近傍に配置された虹彩絞り6に入射する。虹彩絞り6は、光軸AXを中心としたほぼ円形状の開口部(光透過部)を有し、ほぼ円形状を維持したままでその開口径を連続的に変化させることができるように構成された照明開口絞りである。

【0033】なお、回折光学素子31は、照明光路に対して挿脱自在に構成され、且つ輪帯変形照明用の回折光学素子32や4極変形照明用の回折光学素子33と切り換え可能に構成されている。具体的には、3つの回折光学素子31~33は、光軸AXに平行な所定の軸線回りに回転可能なターレット(回転板)300上に支持されている。輪帯変形照明用の回折光学素子32および4極

変形照明用の回折光学素子33の作用については後述する。

【0034】ここで、円形照明用の回折光学素子31と輪帯変形照明用の回折光学素子32と4極変形照明用の回折光学素子33との間の切り換えは、制御系21からの指令に基づいて動作する第1駆動系22により行われる。また、ズームレンズ4の焦点距離の変化は、制御系21からの指令に基づいて動作する第2駆動系23により行われる。さらに、虹彩絞り6の開口径の変化は、制御系21からの指令に基づいて動作する第3駆動系24により行われる。

【0035】円形状の開口部を有する虹彩絞り6を介した二次光源からの光は、第2のコンデンサー光学系としてのズームレンズ7の集光作用を受けた後、後述するマスク10と光学的に共役な所定面を重疊的に照明する。なお、ズームレンズ7は、 $f \sin \theta$ レンズであって、正弦条件を満足するように（ひいてはコマ収差の発生が抑えられるように）構成されている。こうして、この所定面には、各マイクロフライアイ51および52を構成する各微小レンズ要素の形状と相似な矩形状の照野が形成される。そして、この所定面に形成される矩形状の照野の大きさおよび照明NAは、ズームレンズ7の焦点距離に依存して変化する。

【0036】ズームレンズ7は、その前側焦点面と一对のマイクロフライアイ51および52の後側焦点面とが一致し且つその後側焦点面と上述の所定面とが一致するように、焦点距離を連続的に変化させることが好ましい。したがって、ズームレンズ7は、ズームレンズ4と同様に、光軸に沿って互いに独立に移動可能な3つのレンズ群を備えていることが好ましい。このように、ズームレンズ7は、所定の範囲で焦点距離を連続的に変化させることができるように構成され、その焦点距離の変化は制御系21からの指令に基づいて動作する第4駆動系25により行われる。

【0037】なお、マスク10と光学的に共役な所定面には、照明視野絞りとしてのマスクブラインド8が配置されている。マスクブラインド8の開口部（光透過部）を介した光束は、リレー光学系9の集光作用を受けた後、所定のパターンが形成されたマスク10を重疊的に均一照明する。こうして、リレー光学系9は、マスクブラインド8の矩形状の開口部の像をマスク10上に形成することになる。

【0038】マスク10のパターンを透過した光束は、投影光学系11を介して、ワークとしての感光性基板であるウエハ（あるいはプレート）12上にマスクパターンの像を形成する。なお、ウエハ12は、投影光学系11の光軸AXと直交する平面内において二次元的に移動可能なウエハステージ13上に保持されている。こうして、ウエハ12を二次元的に駆動制御しながら一括露光またはスキャン露光（走査露光）を行うことにより、ウ

エハ12の各露光領域（ショット領域）にはマスク10のパターンが逐次露光される。

【0039】なお、一括露光方式では、いわゆるステップ・アンド・リピート方式にしたがって、ウエハの各露光領域に対してマスクパターンを一括的に露光する。この場合、マスク10上での照明領域の形状は正方形に近い矩形状であり、一对のマイクロフライアイ51および52の各微小レンズ要素の形状も正方形に近い矩形状となる。

【0040】一方、スキャン露光方式では、いわゆるステップ・アンド・スキャン方式にしたがって、マスクおよびウエハを投影光学系に対して相対移動させながらウエハの各露光領域に対してマスクパターンをスキャン露光する。この場合、マスク10上での照明領域の形状は短辺と長辺との比がたとえば1:3の矩形状であり、一对のマイクロフライアイ51および52の各微小レンズ要素の形状もこれと相似な矩形状となる。

【0041】本実施形態では、ズームレンズ7の焦点距離を変化させると、マスク10のパターン面に形成される照明領域の大きさ、さらにウエハ12の露光面に形成される露光領域の大きさが変化する。また、ズームレンズ7の焦点距離の変化に伴って、マスク10のパターン面における照明NAが変化する。一方、ズームレンズ4の焦点距離を変化させると、マスク10のパターン面に形成される照明領域の大きさが変化することなく、マスク10上における照明NAが変化する。

【0042】したがって、本実施形態では、ズームレンズ7の焦点距離を所定の値に設定することにより、マスク10上において所望の大きさの照明領域を得ることが、ひいてはウエハ12上において所望の大きさの露光領域を得ることができる。また、所定の値に設定されたズームレンズ7の焦点距離に対してズームレンズ4の焦点距離を所定の値に設定することにより、マスク10上において所望の大きさの照明NAを得ることが、ひいては所望の値に設定または調整することができる。

【0043】さらに、前述したように、回折光学素子31は、照明光路に対して挿脱自在に構成され、且つ輪帯変形照明用の回折光学素子32や4極変形照明用の回折光学素子33と切り換え可能に構成されている。以下、回折光学素子31に代えて回折光学素子32および33を照明光路中に設定することによってそれぞれ得られる輪帯変形照明および4極変形照明について説明する。

【0044】輪帯変形照明用の回折光学素子32は、光軸AXに沿って入射する矩形断面の平行光束を輪帯状の発散光束に変換する。回折光学素子32を介した輪帯状の発散光束は、ズームレンズ4を介した後、一对のマイクロフライアイ51および52に入射する。こうして、光源側のマイクロフライアイ51の入射面には、輪帯状の照野が形成される。その結果、一对のマイクロフライアイ51および52の後側焦点面には、光源側のマイク

ロフライアイ51の入射面に形成された照野と同じ輪帯状の二次光源が形成され、この輪帯状の二次光源からの光束に基づいて輪帯変形照明を行うことができる。

【0045】一方、4極変形照明用の回折光学素子33は、光軸AXに沿って入射する矩形断面の平行光束を4極状の発散光束に変換する。回折光学素子33を介した4極状の発散光束は、ズームレンズ4を介した後、一对のマイクロフライアイ51および52に入射する。こうして、光源側のマイクロフライアイ51の入射面には、4極状の照野が形成される。その結果、一对のマイクロフライアイ51および52の後側焦点面には、光源側のマイクロフライアイ51の入射面に形成された照野と同じ4極状の二次光源が形成され、この4極状の二次光源からの光束に基づいて4極変形照明を行うことができる。このように、回折光学素子31～33は、多光源形成手段5へ入射する光束の光強度分布を変更するための光強度分布変更手段を構成している。

【0046】ところで、本実施形態では、一对のマイクロフライアイ51および52を構成する各微小レンズ要素の屈折面に非球面を導入している。以下、一对のマイクロフライアイ51および52において光軸AXに沿って対応すべき一对の微小レンズ要素51aおよび52aに着目して、この点を説明する。図2(b)に示すように、微小レンズ要素51aは光源側の屈折面m1と被照射面側の屈折面m2とによって規定される両凸形状を有し、微小レンズ要素52aは光源側の屈折面m3と被照射面側の屈折面m4とによって規定される両凸形状を有する。

【0047】本実施形態では、上述の4つの屈折面m1～m4のうちの少なくとも1つの屈折面を、光軸AXに平行な軸線（中心軸線）に関して対称な非球面状に形成している。この場合、非球面の導入により、光学設計上

$$S(y) = (y^2/r) / \{1 + (1 - \kappa \cdot y^2/r^2)^{1/2}\} \quad (2)$$

【0050】具体的には、微小レンズ要素51aの屈折面m1の頂点曲率半径r1および微小レンズ要素52aの屈折面m3の頂点曲率半径r3は、ともに2.091(mm⁻¹)に設定されている。また、微小レンズ要素51aの屈折面m2の頂点曲率半径r2および微小レンズ要素52aの屈折面m4の頂点曲率半径r4は、ともに-2.091(mm⁻¹)に設定されている。さらに、すべての屈折面m1～m4の円錐定数κは、ともに-2.49に設定されている。

【0051】こうして、微小レンズ要素51aの焦点距離および微小レンズ要素52aの焦点距離はともに2.29mmとなり、微小レンズ要素51aと微小レンズ要素52aとの合成焦点距離は1.7mmとなる。以上のように構成された一对のマイクロフライアイ51および52からなる多光源形成手段5では、球面収差が-0.025となり、正弦条件不満足量が-0.002となり、コマ収差が-0.005となる。すなわち、非球面

のパラメータが増えるので、所望の設計解が得られ易くなり、特に収差補正の観点から設計自由度は著しく向上する。したがって、一对の微小レンズ要素51aおよび52aからなる合成光学系において、球面収差の発生を良好に抑えるだけでなく、正弦条件をほぼ満足することによってコマ収差の発生を良好に抑えることができる。その結果、本実施形態では、一对のマイクロフライアイ51および52からなる多光源形成手段5が正弦条件をほぼ満足することになり、多光源形成手段5に起因する照度ムラの発生を良好に抑え、被照射面における照度の均一性と開口数の均一性とを同時に満たすことができる。

【0048】以下、一对のマイクロフライアイ51および52の具体的な数値例に基づいて本実施形態の作用について検証する。なお、以下の数値例では、製造性の高い形態として、4つの屈折面m1～m4が互いに全く同じ性状を有する非球面状に形成されているものとする。まず、数値例では、各微小レンズ要素の大きさを0.54mm×0.2mmと設定し、各微小レンズ要素の照明光に対する屈折率nを1.508と設定する。次いで、微小レンズ要素51aの軸上厚d1および微小レンズ要素52aの軸上厚d3をともに1.3mmと設定し、一对の微小レンズ要素51aと52aとの軸上空気間隔d2を0.53mmと設定する。

【0049】そして、上述したように、4つの屈折面m1～m4は、互いに同じ性状を有する非球面状に形成されている。なお、非球面は、中心軸線に垂直な方向の高さをyとし、高さyにおける各非球面の頂点の接平面から各非球面までの中心軸線に沿った距離（サグ量）をS(y)とし、基準の曲率半径（頂点曲率半径）をrとし、円錐定数をκとしたとき、以下の式(2)で表される。

を導入した上述の数値例により、球面収差の発生を良好に抑えるだけでなく、正弦条件をほぼ満足することによってコマ収差の発生を良好に抑えることが可能であることがわかる。

【0052】なお、図2(a)において、微小レンズ要素500が形成される円形状の領域502の直径は、設定すべき最大σ値に対応するように規定され、たとえば86mm程度に設定される。したがって、微小レンズ要素500のサイズを上述の数値例に示すように0.54mm×0.2mmと設定すると、円形状の領域502内に形成される微小レンズ要素500の有効個数は5万個程度となる。この場合、多光源形成手段5において非常に大きな波面分割効果が得られるので、被照射面であるマスク10あるいはウエハ12上の照度ムラの発生を低減することができる。その結果、照明条件の切り換え（円形照明と輪帯変形照明と4極変形照明との切り換え、照明領域の大きさやσ値などの照明パラメータの交

更など)を行っても、照度ムラの変動およびテレセントリシティの変化を非常に小さく抑えることができる。

【0053】また、多光源形成手段5において非常に大きな波面分割効果が得られるので、輪帯変形照明や4極変形照明に際して、輪帯状の開口部や4極状(一般的には多重極状)の開口部を有する照明開口絞りを虹彩絞り6の位置に配置する必要がなくなる。すなわち、円形照明と輪帯変形照明と4極変形照明との切り換えを行っても、従来技術のように円形開口絞りと輪帯状開口絞りと4極状開口絞りととの切り換えを連動的に行うことなく、虹彩絞り6の開口径を必要に応じて変化させてフレア光などの余分な光束を遮るだけでよい。換言すると、いわゆる絞りと呼ばれる照明開口絞りの配置を省略することができ、構成を簡素化することができる。

【0054】なお、本発明において、十分な波面分割効果を得るには、1つのマイクロフライアイを構成する微小レンズ要素の有効個数が1000個以上であることが好ましい。さらに波面分割効果を高めるためには、微小レンズ要素の有効個数が5000個以上であることが好ましい。ここで、1つのマイクロフライアイを構成する微小レンズ要素の有効個数は、合成光学系の数、および各微小レンズ要素の光軸AXに平行な中心軸線(光軸)の数に対応し、ひいては多光源形成手段5の波面分割数に対応している。

【0055】ところで、本実施形態では、多光源形成手段5が一对のマイクロフライアイ51および52により構成され、且つ各微小レンズ要素のサイズおよび焦点距離が非常に小さいので、光軸AXに沿って対応すべき一对の微小レンズ要素を互いに位置合わせすること、すなわち一对のマイクロフライアイ51および52を互いに位置合わせすることが重要である。具体的には、光軸AXと直交する面内において二次元的に並進位置ずれすることなく、また光軸AXと直交する面内において光軸AX廻りに回転位置ずれすることなく、対応すべき一对の微小レンズ要素を位置合わせする必要がある。

【0056】そこで、本実施形態では、図2(a)に示すように、一对のマイクロフライアイ51と52との位置合わせ手段として、マイクロフライアイ51および52にそれぞれ4つのアライメントマーク503を形成している。4つのアライメントマーク503は、多数の微小レンズ要素500が形成された円形状の領域502の外側において、正方形の4つの角に対応する位置に、たとえばクロムを蒸着することによって形成されている。各アライメントマーク503は、たとえば1 μ m程度の位置精度をもって形成され、その大きさは2mm程度である。

【0057】このように、アライメントマーク503の形成されたマイクロフライアイ51および52は、図3に示すような保持部材504によって支持され、照明光路中において別の保持部材(不図示)に取り付けられた

状態で位置決めされる。保持部材504には、円形状の領域502に対応した円形状の開口部504aと、4つのアライメントマーク503に対応した4つの円形状の開口部504bとが形成されている。また、保持部材504には、たとえば複数のマイクロメータから構成された駆動系505が接続されている。そして、この駆動系505の作用により、照明光路中に位置決めされた保持部材504は、X方向およびY方向に沿ってそれぞれ微小移動するとともに、光軸AX廻りに微小回転する。

【0058】一对のマイクロフライアイ51と52との位置合わせに際しては、マイクロフライアイ51に形成された4つのアライメントマークおよびマイクロフライアイ52に形成された4つのアライメントマークを、目視により、あるいはルーペや顕微鏡などを介して観察する。そして、対応するアライメントマークが光軸AX方向に沿って一致するように、駆動系505により一对の保持部材のうちの少なくとも一方を微動させる。こうして、一对のマイクロフライアイ51と52とを互いに位置合わせすること、ひいては光軸AXに沿って対応すべき一对の微小レンズ要素を互いに位置合わせすることができる。なお、一对の保持部材504の双方を可動としてもよいし、一对の保持部材504の一方を可動とし且つ他方を固定としてもよい。

【0059】なお、他の位置合わせ方法として、たとえばオートコリメータのような角度測定装置を用いて、対応する一对の微小レンズ要素の位置ずれを観測する方法が考えられる。この方法では、照明光路中に一对のマイクロフライアイ51および52を挿入しない状態においてオートコリメータを初期設定した後に、一对のマイクロフライアイ51および52を照明光路中に挿入し、一对の微小レンズ要素の透過光束に基づいて位置合わせを行う。また、顕微鏡などで一对の微小レンズ要素の透過光束を観測し、その視野内で観察される一对の微小レンズ要素の位置ずれを読み取ることによって位置合わせを行う方法も考えられる。

【0060】本実施形態のような照明光学装置では、コンデンサー光学系としてのズームレンズ7などを構成する各レンズに施された反射防止膜の角度特性に起因して照度ムラが発生することが知られている。ここで、反射防止膜は、レンズ表面に複数枚の誘電体の薄膜を蒸着して形成され、反射光を振幅分割して多数の光の位相をずらして干渉させることによって反射光を消す。位相のずらし方は膜の厚さで制御されるため、光束の入射角度が異なると反射防止の効果に差異が発生する。一般に、レンズを使用する光学系では、レンズ周辺を透過する光線ほど大きく折り曲げられ入射角は大きい。一方、反射防止膜は垂直入射に対して設計されているので、入射角の大きい光ほど反射され易い。その結果、被照射面において像高が大きいほど、すなわち光軸から離れるにしたがって照度がほぼ二次曲線状に低下する傾向となる。

【0061】本実施形態では、カバーガラス53の被照射面側の面にクロムのドットパターンが形成されたフィルタを配置することによって、上述の反射防止膜の角度特性などに起因して発生する照度ムラなどを補正することができる。ここで、光源側のマイクロフライアイ51を構成する各微小レンズ要素の入射面に対応する微小な矩形の領域に形成されるドットパターンは、その中心の透過率が最も小さくその周辺に向かって透過率が徐々に増大するように構成されている。この場合も、カバーガラス53に形成された矩形の微小ドットパターン領域と光源側のマイクロフライアイ51の各微小レンズ要素とを位置合わせする必要がある。この位置合わせは、前述したアライメントマークをカバーガラス53に形成することによって、一对のマイクロフライアイの位置合わせと同様に行うことができる。

【0062】なお、上述のフィルタは、光源側のマイクロフライアイ51の入射面に限定されることなく、被照射面と光学的に共役な面の近傍に配置することができる。また、上述のドットパターンを、光源側のマイクロフライアイ51を構成する各微小レンズ要素の入射面に直接形成することもできる。また、ドットパターンの形成されたカバーガラス53に代えて、入射角に応じて透過率の異なるフィルタを照明光学装置の瞳位置（たとえば虹彩絞り6の位置またはその共役面）に配置することによって、上述の照度ムラを補正することができる。

【0063】さらに、コンデンサ光学系としてのズームレンズ7を構成する複数のレンズのうち一部のレンズを光軸方向に移動させることによって上述の照度ムラを補正する方法も考えられる。しかしながら、この方法では、ディストーション（歪曲収差）のような諸収差が発生するだけでなく、ズームレンズ7の焦点距離の変化に伴って、値など照明パラメータが変化してしまう。また、前述したように、照明条件の切り換えに伴って照度ムラがわずかに変動することがある。この場合、照明条件の切り換えに際して、上述のフィルタの切り換えなどを行うことにより照度ムラの変動を補正することもできる。

【0064】なお、上述の実施形態においては、間隔を隔てた配置された一对のマイクロフライアイにより多光源形成手段を構成しているが、一般に間隔を隔てた配置された少なくとも2つの光学要素束により多光源形成手段を構成することもできる。ここで、光学要素束は、レンズ面の二次元アレイや反射面の二次元アレイを含む概念である。また、上述の実施形態においては、エッチング処理によりマイクロフライアイを形成しているが、たとえば圧痕法や研磨法によりマイクロフライアイを形成することもできる。

【0065】さらに、上述の実施形態においては、一对のマイクロフライアイが空気間隔を隔てて配置されているが、その間隔空間を不活性ガスや光学ガラスで満たす

こともできる。なお、所定の波長よりも短い紫外光を供給する光源を用いる場合には、石英ガラスまたは蛍石を用いて波面分割型オプティカルインテグレータを形成することが好ましい。また、上述の実施形態においては、波面分割型オプティカルインテグレータとしてマイクロフライアイを用いているが、たとえばフライアイレンズのような波面分割型オプティカルインテグレータを用いることもできる。この場合、十分な波面分割効果を得るために、十分な数のレンズエレメントでフライアイレンズを構成することが好ましい。

【0066】さらに、上述の実施形態においては、光強度分布変更手段としての回折光学素子をターレット方式で照明光路中に位置決めするように構成しているが、たとえば公知のスライド機構を利用して上述の回折光学素子の切り換えを行うこともできる。ところで、本発明で利用することのできる回折光学素子に関する詳細な説明は、米国特許第5,850,300号公報などに開示されている。また、上述の実施形態では、光強度分布変更手段として回折光学素子を用いているが、たとえばフライアイレンズやマイクロフライアイのような波面分割型オプティカルインテグレータを用いることもできる。

【0067】さらに、上述の実施形態では、マスク10と共役な所定面に照野を一旦形成し、この照野からの光束をマスクブラインド8で制限した後に、リレー光学系9を介してマスク10上に照野を形成している。しかしながら、リレー光学系9を省略し、ズームレンズ7を介して、マスクブラインド8の位置に配置したマスク10上に照野を直接形成する構成も可能である。また、上述の実施形態では、4極状の二次光源を形成する例を示しているが、たとえば2極（2つ目）状の二次光源、あるいは8極（8つ目）状のような多重極状の二次光源を形成することもできる。

【0068】さらに、上述の実施形態では、光源としてKrFエキシマレーザ（波長：248nm）やArFエキシマレーザ（波長：193nm）を用いているが、g線やi線を含む他の波長光を供給する適当な光源に対しても本発明を適用することができる。また、上述の実施形態では、照明光学装置を備えた投影露光装置を例にとりて本発明を説明したが、マスク以外の被照射面を均一照明するための一般的な照明光学装置に本発明を適用することができることは明らかである。

【0069】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の照明光学装置では、波面分割型オプティカルインテグレータの各微小レンズ要素に非球面を導入することにより、光学設計上のパラメータが増えるので、所望の設計解が得られ易くなり、特に収差補正の観点から設計自由度は著しく向上する。したがって、波面分割型オプティカルインテグレータにおいて、球面収差の発生を良好に抑えるだけでなく、正弦条件をほぼ満足することによってコマ収差

の発生を良好に抑えることができる。その結果、多光源形成手段としての波面分割型オプティカルインテグレータに起因する照度ムラの発生を良好に抑え、被照射面における照度の均一性と開口数の均一性とを同時に満たすことができる。

【0070】したがって、本発明の照明光学装置を組み込んだ投影露光装置では、被照射面である感光性基板の露光面における照度の均一性と開口数の均一性とを同時に満たすことができる。その結果、良好な露光条件のもとで、スループットの高い良好な投影露光を行うことができる。また、本発明の照明光学装置を用いて被照射面上に配置されたマスクのパターンを感光性基板上に露光する露光方法では、良好な露光条件のもとで投影露光を行うことができるので、良好なマイクロデバイス（半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等）を製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態にかかる照明光学装置を備えた投影露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図2】図1の多光源形成手段の構成を示す図であって、（a）は光軸AXに沿って見た各マイクロフライ

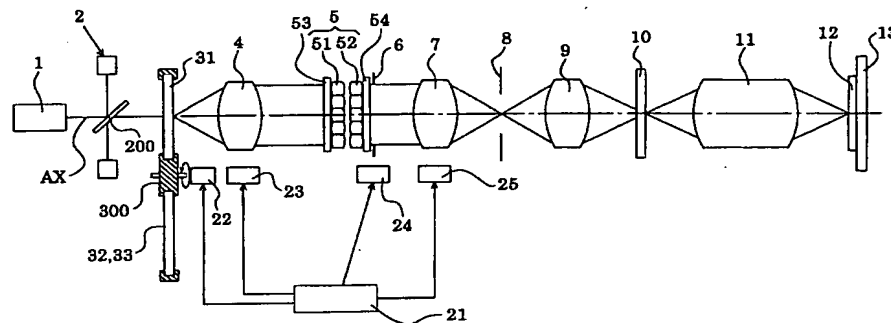
アイの構成を示す図であり、（b）は一对のマイクロフライアイの作用および断面形状を示す図である。

【図3】図1の一对のマイクロフライアイの位置合わせを説明する図である。

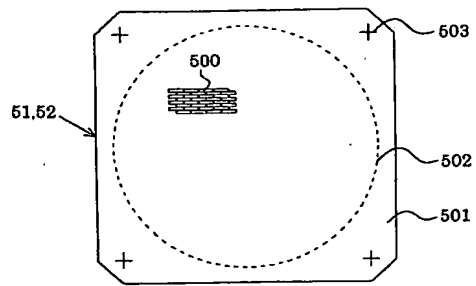
【符号の説明】

- | | |
|--------|-----------|
| 1 | 光源 |
| 2 | 光遅延部 |
| 3 | 回折光学素子 |
| 4 | ズームレンズ |
| 5 | 多光源形成手段 |
| 51, 52 | マイクロフライアイ |
| 6 | 虹彩絞り |
| 7 | ズームレンズ |
| 8 | マスクブラインド |
| 9 | リレー光学系 |
| 10 | マスク |
| 11 | 投影光学系 |
| 12 | ウエハ |
| 13 | ウエハステージ |
| 20 | 制御系 |
| 21 | 駆動系 |

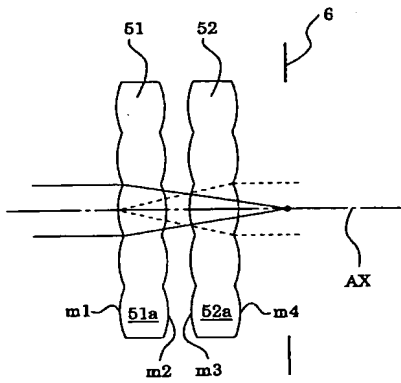
【図1】



【図2】

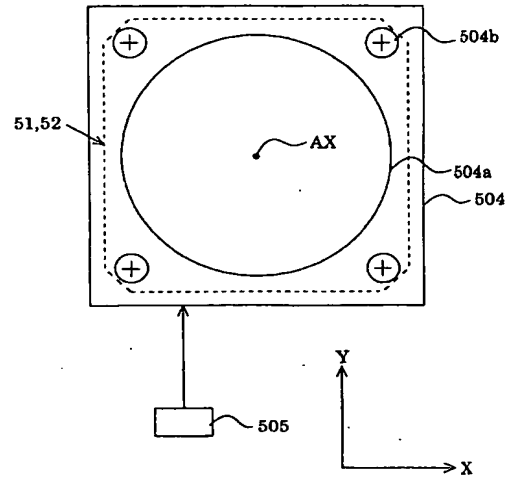


(a)



(b)

【図3】



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-176772

(43)Date of publication of application : 29.06.2001

(51)Int.Cl.

H01L 21/027

G02B 3/00

G02B 19/00

G03F 7/20

(21)Application number : 11-355879

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 15.12.1999

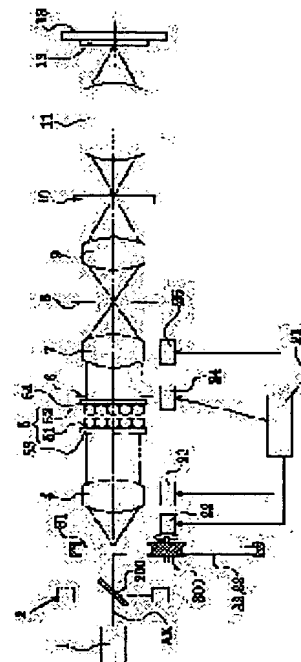
(72)Inventor : TANITSU OSAMU

(54) ILLUMINATION OPTICAL DEVICE AND PROJECTION ALIGNER EQUIPPED WITH THE SAME

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a projection aligner which appropriately prevents ununiform illuminance, due to a wave front separation type optical integrator and satisfies uniformity of illuminance and the constant numerical apertures on the surface to be irradiated at the same time.

SOLUTION: This aligner is provided with a light source means 1 for supplying an illumination light, a multiple light source formation means 5 for forming a number of light sources by using light fluxes emitted from the light source means, and a condenser optical system 7 for leading the light fluxes emitted from the light sources to surfaces 10 and 12, to be irradiated or a surface optically conjugate with the surface to be irradiated. The microlens elements in the wave front split type optical integrators 51 and 52 as a multiple light source formation means has at least one refractive surface, that is formed nonspherically symmetrically to substantially parallel axial line to a reference light axis AX, in order to obtain an almost uniform luminance on the surface to be irradiated.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

*** NOTICES ***

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] The light source means for supplying the illumination light, and the multi-light source means forming for forming much light sources based on the flux of light from this light source means, In illumination-light study equipment equipped with the capacitor optical system for leading optically the flux of light from the light source of said large number to a field [****] with an irradiated plane or this irradiated plane said multi-light source means forming It has the wavefront-splitting mold optical integrator which has many microlens elements. Each microlens element in said wavefront-splitting mold optical integrator Illumination-light study equipment characterized by having at least one refracting interface substantially formed in the shape of [symmetrical] the aspheric surface about the parallel axis to the criteria optical axis in order to obtain an almost uniform illuminance on said irradiated plane.

[Claim 2] For at least one refracting interface which has the synthetic optical system of a large number which use the axis of parallel a large number as an optical axis substantially to said criteria optical axis, respectively, and was formed in the shape of [said] the aspheric surface, said wavefront-splitting mold optical integrator is illumination-light study equipment according to claim 1 characterized by being formed in the shape of [predetermined] the aspheric surface in order to suppress generating of the comatic aberration in said synthetic optical system good.

[Claim 3] Illumination-light study equipment according to claim 1 or 2 characterized by having the alignment means for adjoining the incidence side of said wavefront-splitting mold optical integrator, the filter which has predetermined light transmittance distribution being arranged in order to amend the illuminance nonuniformity on said irradiated plane, and carrying out alignment of said wavefront-splitting mold optical integrator and said filter.

[Claim 4] It is illumination-light study equipment given in claim 1 which said wavefront-splitting mold optical integrator has at least two optical element bundles arranged by separating spacing in accordance with said criteria optical axis, and is characterized by said at least two optical element bundles having the optical surface of the shape of said aspheric surface thru/or any 1 term of 3.

[Claim 5] It is illumination-light study equipment according to claim 4 characterized by for said at least two optical element bundles having much synthetic optical system which consists of at least two microoptics elements which correspond along with said axis, respectively, and forming all the optical surfaces in said synthetic optical system in the shape of [which has the same description mutually] the aspheric surface.

[Claim 6] Illumination-light study equipment according to claim 4 or 5 characterized by having the alignment means for carrying out alignment of said at least two optical element bundles mutually.

[Claim 7] Said wavefront-splitting mold optical integrator is illumination-light study equipment given in claim 1 characterized by having said 1000 or more axes thru/or any 1 term of 6.

[Claim 8] In the projection aligner which imprints the pattern prepared on the mask to up to a work piece Illumination-light study equipment given in claim 1 for illuminating said mask thru/or any 1 term of 7, It has the projection optics for carrying out projection exposure of the pattern of said mask to up to said work piece. Said illumination-light study equipment The projection aligner characterized by having

been arranged between said light source means and said multi-light source means forming, and having further the optical intensity-distribution modification means for changing into said multi-light source means forming the optical intensity distribution of the flux of light which carries out incidence.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the suitable illumination-light study equipment for the projection aligner for manufacturing a semiconductor device or a liquid crystal display component especially about the projection aligner equipped with illumination-light study equipment and this illumination-light study equipment.

[0002]

[Description of the Prior Art] For example, in case a semiconductor device or a liquid crystal display component is manufactured at a photolithography process, the projection aligner which imprints the pattern for an imprint formed in the mask to a photosensitive substrate like a wafer through projection optics is used. In this kind of typical projection aligner, the flux of light injected from the light source carries out incidence to a fly eye lens, and forms the secondary light source which becomes an after that side focal plane from many light source images. After the flux of light from the secondary light source is restricted through the aperture diaphragm arranged near the backside [a fly eye lens] focal plane, incidence of it is carried out to a condenser lens. An aperture diaphragm restricts to the configuration of the secondary light source, the configuration of a request of magnitude, or magnitude according to desired lighting conditions (exposure conditions).

[0003] The flux of light condensed by the condenser lens illuminates in superposition the mask with which the predetermined pattern was formed. Image formation of the light which penetrated the pattern of a mask is carried out on a wafer through projection optics. In this way, on a wafer, projection exposure (imprint) of the mask pattern is carried out. In addition, it is indispensable to integrate highly the pattern formed in the mask and to imprint this detailed pattern correctly on a wafer to acquire uniform illumination distribution on a wafer.

[0004] In recent years, the technique of changing the magnitude of the secondary light source formed of a fly eye lens, and changing the coherency sigma of lighting (sigma value = the pupil diameter of the diameter of an aperture diaphragm / projection optics or incidence side numerical aperture of the injection side numerical aperture / projection optics of a sigma value = illumination-light study system) attracts attention by changing the magnitude of opening (light transmission section) of the aperture diaphragm arranged at the injection side of a fly eye lens. Moreover, by setting up the configuration of opening of the aperture diaphragm arranged at the injection side of a fly eye lens the shape of zona orbicularis, and in the shape of 4 holes (the shape of namely, 4 poles), the configuration of the secondary light source formed of a fly eye lens is restricted the shape of zona orbicularis, and in the shape of 4 poles, and the technique of raising the depth of focus and resolution of projection optics attracts attention.

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] In this kind of projection aligner, since it corresponds to improvement in degrees of integration, such as the latest semiconductor device, very high image homogeneity is required of the whole exposure field on a photosensitive substrate. That is, the

illumination-light study equipment of a projection aligner requires the homogeneity of an illuminance, and the homogeneous both sides of a numerical aperture on very high level in the exposure field which is an irradiated plane.

[0006] When the illuminance in an exposure field is not uniform (i.e., when an illuminance changes depending on the location in an exposure field), light exposure becomes an ununiformity and the line breadth of the pattern formed on a photosensitive substrate as a result becomes an ununiformity. Moreover, when the numerical aperture in an exposure field is not uniform (i.e., when numerical aperture changes depending on the location in an exposure field), spatial coherence becomes an ununiformity and the line breadth of the pattern formed on a photosensitive substrate as a result becomes an ununiformity.

[0007] Generally, in an irradiated plane, the homogeneity of an illuminance and the homogeneity of numerical aperture cannot be filled with the illumination-light study equipment used for the conventional projection aligner to coincidence. Consequently, there was un-arranging [that the line breadth of the pattern formed on the photosensitive substrate which is an irradiated plane became an ununiformity]. The illuminance nonuniformity to which an illuminance falls in the shape of second [about] curve occurs as it originates in the amount of violations of sine condition of the fly eye lens as a wavefront-splitting mold optical integrator and specifically separates from an optical axis in an irradiated plane, even if it fulfills the homogeneity of the numerical aperture in an irradiated plane so that it may mention later.

[0008] This invention is made in view of the above-mentioned technical problem, suppresses generating of the illuminance nonuniformity resulting from the wavefront-splitting mold optical integrator as multi-light source means forming good, and aims at offering the projection aligner equipped with the illumination-light study equipment and this illumination-light study equipment which can fulfill the homogeneity of an illuminance and the homogeneity of numerical aperture in an irradiated plane to coincidence.

[0009]

[Means for Solving the Problem] The light source means for supplying the illumination light in this invention, in order to solve said technical problem, The multi-light source means forming for forming much light sources based on the flux of light from this light source means, In illumination-light study equipment equipped with the capacitor optical system for leading optically the flux of light from the light source of said large number to a field [****] with an irradiated plane or this irradiated plane said multi-light source means forming It has the wavefront-splitting mold optical integrator which has many microlens elements. Each microlens element in said wavefront-splitting mold optical integrator In order to obtain an almost uniform illuminance on said irradiated plane, the illumination-light study equipment characterized by having at least one refracting interface substantially formed in the shape of [symmetrical] the aspheric surface about the parallel axis to the criteria optical axis is offered.

[0010] In order to suppress generating of the comatic aberration in said synthetic optical system good, as for at least one refracting interface which has the synthetic optical system of a large number which use the axis of parallel a large number as an optical axis substantially to said criteria optical axis, respectively, and was formed in the shape of [said] the aspheric surface, it is [said wavefront-splitting mold optical integrator] desirable according to the desirable mode of this invention, to be formed in the shape of [predetermined] the aspheric surface. In this case, as for at least one refracting interface formed in the shape of [said] the aspheric surface, it is desirable to be formed in the shape of [which suppresses generating of the spherical aberration in said synthetic optical system good] the aspheric surface.

[0011] Moreover, according to the desirable mode of this invention, it is desirable to have the alignment means for adjoining the incidence side of said wavefront-splitting mold optical integrator, the filter which has predetermined light transmittance distribution being arranged in order to amend the illuminance nonuniformity on said irradiated plane, and carrying out alignment of said wavefront-splitting mold optical integrator and said filter. In this case, as for said alignment means, it is desirable to have the alignment mark formed in said wavefront-splitting mold optical integrator and the alignment

mark formed in said filter.

[0012] Furthermore, according to the desirable mode of this invention, said wavefront-splitting mold optical integrator has at least two optical element bundles arranged by separating spacing in accordance with said criteria optical axis, and, as for said at least two optical element bundles, it is desirable to have the optical surface of the shape of said aspheric surface. In this case, said at least two optical element bundles have much synthetic optical system which consists of at least two microoptics elements which correspond along with said axis, respectively, and, as for all the optical surfaces in said synthetic optical system, it is desirable to be formed in the shape of [which has the same description mutually] the aspheric surface.

[0013] Moreover, according to the desirable mode of this invention, it is desirable to have the alignment means for carrying out alignment of said at least two optical element bundles mutually. In this case, as for said alignment means, it is desirable to have the alignment mark formed in each of said at least two optical element bundles. Moreover, the incidence side of said wavefront-splitting mold optical integrator is adjoined, in order to amend the illuminance nonuniformity on said irradiated plane, the filter which has predetermined light transmittance distribution is arranged, and in order to carry out alignment of said at least two optical element bundles and said filter, it is desirable [said alignment means] to have the alignment mark formed in said filter.

[0014] Moreover, according to another aspect of affairs of this invention, the pattern prepared on the mask is set to the projection aligner imprinted to up to a work piece. Illumination-light study equipment given in claim 1 for illuminating said mask thru/or any 1 term of 7, It has the projection optics for carrying out projection exposure of the pattern of said mask to up to said work piece. Said illumination-light study equipment It is arranged between said light source means and said multi-light source means forming, and the projection aligner characterized by having further the optical intensity-distribution modification means for changing into said multi-light source means forming the optical intensity distribution of the flux of light which carries out incidence is offered.

[0015] In this case, it is desirable that only the lighting aperture diaphragm which has opening of a circle configuration mostly is arranged near the pupil surface of said illumination-light study equipment. Moreover, as for said lighting aperture diaphragm, it is desirable that said the diameter of opening is constituted by adjustable in this case, maintaining a circle configuration mostly.

[0016]

[Embodiment of the Invention] First, the conditions for satisfying the homogeneity of numerical aperture in illumination-light study equipment using a wavefront-splitting mold optical integrator as multi-light source means forming When the focal distance of the capacitor optical system which leads optically the flux of light from much light sources to a field [****] with an irradiated plane or an irradiated plane is set to F and the incident angle of the beam of light to capacitor optical system is set to θ , The distance (image quantity) Y from the optical axis of the location which carries out incidence to an irradiated plane or an irradiated plane optically in a field [****] is satisfying the projection relation shown in the following formula (1).

$$Y = F \sin \theta \quad (1)$$

[0017] However, when capacitor optical system with which the projection relation of a formula (1) is filled was used, it was not able to originate in the amount of violations of sine condition of the wavefront-splitting mold optical integrator used as multi-light source means forming, and could not be satisfied with the illumination-light study equipment according to the conventional technique of the homogeneity of the illuminance in an irradiated plane. For example, the fly eye lens usually used as multi-light source means forming in the illumination-light study equipment of a projection aligner consists of a lens element of a large number which have a biconvex lens configuration. Thus, since there are only two refracting interfaces formed in the shape of the spherical surface in each lens element of a fly eye lens, the fly eye lens has not satisfied sine condition.

[0018] Therefore, when the projection relation of capacitor optical system has satisfied the above-mentioned formula (1), it originates in the amount of violations of sine condition of a fly eye lens, and there is an inclination for an illuminance to fall in the shape of a quadratic curve mostly as it separates

from an optical axis in an irradiated plane. As mentioned above, even if it secures the homogeneity of numerical aperture using the capacitor optical system with which are satisfied of the projection relation of $f \sin \theta$ shown in a formula (1), it turns out that the illuminance nonuniformity to which it applies on the outskirts from the center of an irradiated plane, and an illuminance falls in the shape of second [about] curve occurs.

[0019] Then, it constituted from this invention so that it might have at least one refracting interface in which each microlens element was formed in the shape of [symmetrical] the aspheric surface about the axis almost parallel to a criteria optical axis using the wavefront-splitting mold optical integrator which has many microlens elements as multi-light source means forming, and the almost uniform illuminance has been obtained on the irradiated plane. It specifically has the synthetic optical system of a large number to which a wavefront-splitting mold optical integrator uses the axis of a large number almost parallel to a criteria optical axis as an optical axis, respectively, and at least one refracting interface is formed in the shape of [predetermined] the aspheric surface so that generating of the comatic aberration in this synthetic optical system may be suppressed good.

[0020] Thus, in this invention, since the parameter on an optical design increases by introducing the aspheric surface into each microlens element, the design solution to becomes is easy to be acquired, and especially a design degree of freedom improves remarkably from a viewpoint of aberration amendment. Therefore, in a wavefront-splitting mold optical integrator, generating of comatic aberration can be suppressed good by it not only suppressing generating of spherical aberration good, but satisfying sine condition mostly. Consequently, generating of the illuminance nonuniformity resulting from multi-light source means forming can be suppressed good, and the homogeneity of an illuminance and the homogeneity of numerical aperture in an irradiated plane can be fulfilled to coincidence.

[0021] Therefore, the homogeneity of an illuminance and the homogeneity of numerical aperture in the exposure side of the photosensitive substrate which is an irradiated plane can be filled with the projection aligner incorporating the illumination-light study equipment of this invention to coincidence. Consequently, good high projection exposure of a throughput can be performed under good exposure conditions. Moreover, by the exposure approach which exposes the pattern of the mask arranged on an irradiated plane using the illumination-light study equipment of this invention on a photosensitive substrate, since projection exposure can be performed under good exposure conditions, good micro devices (a semiconductor device, an image sensor, a liquid crystal display component, thin film magnetic head, etc.) can be manufactured.

[0022] The operation gestalt of this invention is explained based on an accompanying drawing. Drawing 1 is drawing showing roughly the configuration of the projection aligner equipped with the illumination-light study equipment concerning the operation gestalt of this invention. In addition, in drawing 1, it is set up so that illumination-light study equipment may perform the usual circular lighting. The projection aligner of drawing 1 is equipped with the excimer laser which supplies wavelength (248nm or 193nm) of light as the light source 1 for supplying exposure light (illumination light). After being orthopedically operated by the flux of light which has the cross section of the shape of a desired rectangle through plastic surgery optical system (un-illustrating), incidence of the almost parallel flux of light injected in accordance with the criteria optical axis AX from the light source 1 is carried out to the optical delay section 2.

[0023] The flux of light which carried out incidence to the optical delay section 2 in accordance with the optical axis AX is divided into the flux of light which penetrates a half mirror 200, and the flux of light reflected by the half mirror 200. The flux of light reflected by the half mirror 200 returns to a half mirror 200, after a sequential deviation is carried out in four reflective mirrors (un-illustrating) arranged so that the delay optical path of for example, a rectangle configuration may be formed. The flux of light reflected by the half mirror 200 after passing through a delay optical path once is injected in accordance with the same optical axis AX as the flux of light which penetrated the half mirror 200, without passing through a delay optical path, and an optical-path-length difference equal to the optical path length of a delay optical path is given between the two flux of lights.

[0024] In this way, the flux of light which carries out incidence in accordance with an optical axis AX

by the optical delay section 2 is divided into two or more flux of lights in time, and an optical-path-length difference equal to the optical path length of a delay optical path is given between the two flux of lights which continue in time. Here, the optical-path-length difference given is set up more than the time coherence length of the flux of light from the source 1 of coherent light. Therefore, a coherency (coherency) can be reduced in the wave train divided by the optical delay section 2, and generating of the interference fringe in an illuminated field or a speckle can be suppressed good. In addition, in order to suppress generating of a speckle good, it is desirable to arrange the above optical delay sections to three steps in accordance with an optical axis AX. A configuration and an operation of this kind detailed to the pan about an optical delay means are indicated by for example, JP,1-198759,A, JP,11-174365,A and a Japanese-Patent-Application-No. No. 21591 [11 to] specification, the drawing, etc.

[0025] Incidence of the flux of light divided into the incoherent multiplex pulse in time through the optical delay section 2 is carried out to the diffracted-light study component (DOE) 31. Generally, a diffracted-light study component is constituted by forming the level difference which has the pitch of wavelength extent of exposure light (illumination light) in a glass substrate, and has the operation which diffracts an incident beam at a desired include angle. Specifically, the diffracted-light study component 31 for circular lighting is changed into the emission flux of light which has the cross section of a circle configuration for the almost parallel flux of light of the shape of a rectangle which carried out incidence in accordance with the optical axis AX. By the way, since there is effectiveness of reducing generating of the interference fringe in an illuminated field or a speckle in a diffracted-light study component, depending on the case, installation of the optical delay section 2 is also omissible.

[0026] After the emission flux of light of the circle configuration through the diffracted-light study component 31 minds the zoom lens 4 as 1st capacitor optical system, incidence of it is carried out to the multi-light source means forming 5 which consisted of micro fly eyes 51 and 52 of a pair. In this way, the radiation field of a circle configuration is formed in the plane of incidence (namely, plane of incidence of the micro fly eye 51 by the side of the light source) of the multi-light source means forming 5. And the magnitude (namely, the diameter) of the radiation field formed changes depending on the focal distance of a zoom lens 4.

[0027] In addition, in order to avoid that the plane of incidence of the micro fly eye 51 and the injection side of the micro fly eye 52 are polluted by photochemical reaction, the plane of incidence of the micro fly eye 51 and the injection side of the micro fly eye 52 are adjoined, and the plane-parallel plates 53 and 54 of a pair are arranged as cover glass, respectively. Therefore, what is necessary is to exchange only the cover glass 53 and 54 of a pair, without exchanging the micro fly eyes 51 and 52 of the pair by which alignment adjustment was carried out so that it may mention later even if contamination by photochemical reaction takes place.

[0028] Drawing 2 is drawing showing the configuration of the multi-light source means forming of drawing 1, (a) is drawing showing the configuration of each micro fly eye seen in accordance with the optical axis AX, and (b) is drawing showing an operation and cross-section configuration of the micro fly eye of a pair. Each micro fly eyes 51 and 52 are optical elements which consist of a microlens element 500 which has the forward refractive power of the shape of a rectangle of a large number arranged in all directions and densely, as it has the same basic configuration mutually and is shown in drawing 2 (a) and (b). Each micro fly eyes 51 and 52 are constituted by performing etching processing to the parallel flat-surface glass plate 501 of a square configuration, and forming a microlens group in the field 502 of a circle configuration.

[0029] Generally, each microlens element (each microoptics element) which constitutes a micro fly eye (optical element bundle) is minuter than each lens element which constitutes a fly eye lens. Moreover, unlike the fly eye lens which consists of a lens element isolated mutually, the micro fly eye is formed in one, without isolating many microlens elements mutually. However, the micro fly eye is the same as a fly eye lens at the point that the lens element which has forward refractive power is arranged in all directions. In addition, there are also very few twists and the number of the microlens elements which constitute a micro fly eye for clear-izing of a drawing is actually expressed with drawing 1 and drawing 2.

[0030] Therefore, the flux of light which carried out incidence to the micro fly eyes 51 and 52 of a pair is divided by many microlens elements two-dimensional. And as a continuous line shows drawing 2 (b), the one light source is formed in a backside [the synthetic optical system which consists of microlens elements 51a and 52a of a pair which correspond in accordance with an optical axis AX in the micro fly eyes 51 and 52 of a pair] focal plane (the injection side of the micro fly eye 52 by the side of an irradiated plane near [namely, J), respectively. In addition, as a broken line shows drawing 2 (b), it is constituted so that a before [the micro fly eyes 51 and 52 of a pair] side focal plane may be in agreement with the plane of incidence of the micro fly eye 51 by the side of the light source.

[0031] In this way, the a large number light source (henceforth the "secondary light source") of the same circle configuration as the radiation field formed in the plane of incidence of the micro fly eye 51 by the side of the light source is formed in a backside [the micro fly eyes 51 and 52 of a pair] focal plane.

Thus, the micro fly eyes 51 and 52 of a pair constitute the multi-light source means forming 5 for constituting one wavefront-splitting mold optical integrator, as a result forming much light sources based on the flux of light from the light source 1.

[0032] Here, as for a zoom lens 4, it is desirable to cover the 3 times as many range as this, and to change a focal distance continuously so that the before side focal plane and the diffraction side of the diffracted-light study component 31 may be in agreement and an after that side focal plane and the plane of incidence of the micro fly eye 51 may be in agreement. Therefore, as for a zoom lens 4, it is desirable to have three movable lens groups mutually-independent in accordance with an optical axis. Incidence of the flux of light from the secondary light source of the circle configuration formed in the backside [the micro fly eyes 51 and 52 of a pair] focal plane is carried out to the tris diaphragm 6 arranged in the near. A tris diaphragm 6 is the lighting aperture diaphragm constituted so that the diameter of opening could be changed [which was centered on the optical axis AX] continuously, having opening (light transmission section) of a circle configuration mostly, and maintaining a circle configuration mostly.

[0033] in addition -- the diffracted light -- study -- a component -- 31 -- the illumination light -- a way -- receiving -- insertion and detachment -- free -- constituting -- having -- and -- the zona orbicularis -- deformation -- lighting -- ** -- the diffracted light -- study -- a component -- 32 -- four -- a pole -- deformation -- lighting -- ** -- the diffracted light -- study -- a component -- 33 -- a switch -- possible -- constituting -- having -- **** . Specifically, three diffracted-light study components 31-33 are supported on the turret (rotor plate) 300 pivotable to the circumference of a predetermined axis parallel to an optical axis AX. About an operation of the diffracted-light study component 32 for zona-orbicularis deformation lighting and the diffracted-light study component 33 for 4 pole deformation lighting, it mentions later.

[0034] Here, the switch between the diffracted-light study component 31 for circular lighting, the diffracted-light study component 32 for zona-orbicularis deformation lighting, and the diffracted-light study component 33 for 4 pole deformation lighting is performed by the 1st drive system 22 which operates based on the command from a control system 21. Moreover, change of the focal distance of a zoom lens 4 is performed by the 2nd drive system 23 which operates based on the command from a control system 21. Furthermore, change of the diameter of opening of a tris diaphragm 6 is performed by the 3rd drive system 24 which operates based on the command from a control system 21.

[0035] The light from the secondary light source through the tris diaphragm 6 which has opening of a circle configuration illuminates a predetermined side [****] in superposition optically with the mask 10 mentioned later, after receiving a condensing operation of the zoom lens 7 as 2nd capacitor optical system. In addition, a zoom lens 7 is a fsintheta lens, and it is constituted so that sine condition may be satisfied (as a result, generating of comatic aberration is suppressed like). In this way, the radiation field of the shape of a rectangle [**** / the configuration of each microlens element which constitutes each micro fly eyes 51 and 52] is formed in this predetermined side. And rectangle-like the magnitude and Lighting NA of a radiation field which are formed in this predetermined side change depending on the focal distance of a zoom lens 7.

[0036] As for a zoom lens 7, it is desirable to change a focal distance continuously so that the before side focal plane and a backside [the micro fly eyes 51 and 52 of a pair] focal plane may be in

agreement and an after that side focal plane and an above-mentioned predetermined side may be in agreement. Therefore, as for a zoom lens 7, it is desirable like a zoom lens 4 to have three movable lens groups mutually-independent in accordance with an optical axis. Thus, a zoom lens 7 is constituted so that a focal distance can be continuously changed in the predetermined range, and change of the focal distance is performed by the 4th drive system 25 which operates based on the command from a control system 21.

[0037] In addition, the mask blind 8 as a lighting field diaphragm is optically arranged with the mask 10 in the predetermined side [****]. The flux of light through opening (light transmission section) of the mask blind 8 carries out homogeneity lighting of the mask 10 with which the predetermined pattern was formed in superposition, after receiving a condensing operation of the relay optical system 9. In this way, the relay optical system 9 will form the image of opening of the shape of a rectangle of the mask blind 8 on a mask 10.

[0038] The flux of light which penetrated the pattern of a mask 10 forms the image of a mask pattern through projection optics 11 on the wafer (or plate) 12 which is a photosensitive substrate as a work piece. In addition, the wafer 12 is held two-dimensional at the movable wafer stage 13 top in the flat surface which intersects perpendicularly with the optical axis AX of projection optics 11. In this way, the pattern of a mask 10 is serially exposed by each exposure field (shot field) of a wafer 12 by performing one-shot exposure or scanning exposure (scan exposure), carrying out drive control of the wafer 12 two-dimensional.

[0039] In addition, by the one-shot exposure method, a mask pattern is exposed in package to each exposure field of a wafer according to the so-called step-and-repeat method. In this case, the configuration of the lighting field on a mask 10 has the shape of a rectangle near a square, and turns into the shape of a rectangle also with the configuration of each microlens element of the micro fly eyes 51 and 52 of a pair near a square.

[0040] On the other hand, by the scanning exposure method, scanning exposure of the mask pattern is carried out to each exposure field of a wafer according to so-called step - and - scanning method, making a mask and a wafer displaced relatively to projection optics. In this case, the ratio of a shorter side and a long side has the shape of a rectangle of 1:3, and the configuration of the lighting field on a mask 10 turns into the shape of a rectangle [**** / the configuration of each microlens element of the micro fly eyes 51 and 52 of a pair / this].

[0041] With this operation gestalt, if the focal distance of a zoom lens 7 is changed, the lighting area size formed in the pattern side of a mask 10 and the exposure area size further formed in the exposure side of a wafer 12 will change. Moreover, the lighting NA in the pattern side of a mask 10 changes with change of the focal distance of a zoom lens 7. On the other hand, the lighting NA on a mask 10 changes, without the lighting area size formed in the pattern side of a mask 10 changing, if the focal distance of a zoom lens 4 is changed.

[0042] Therefore, with this operation gestalt, by setting the focal distance of a zoom lens 7 as a predetermined value, if obtaining the lighting field of desired magnitude on a mask 10 pulls, it can obtain the exposure field of desired magnitude on a wafer 12. Moreover, by setting the focal distance of a zoom lens 4 as a predetermined value to the focal distance of the zoom lens 7 set as the predetermined value, if obtaining the lighting NA of desired magnitude on a mask 10 pulls, it can set up or adjust to a desired sigma value.

[0043] furthermore -- having mentioned above -- as -- the diffracted light -- study -- a component -- 31 - - the illumination light -- a way -- receiving -- insertion and detachment -- free -- constituting -- having - - and -- the zona orbicularis -- deformation -- lighting -- ** -- the diffracted light -- study -- a component -- 32 -- four -- a pole -- deformation -- lighting -- ** -- the diffracted light -- study -- a component -- 33 - - a switch -- possible -- constituting -- having -- **** . By replacing with the diffracted-light study component 31, and setting up the diffracted-light study components 32 and 33 all over an illumination-light way hereafter, explains the zona-orbicularis deformation lighting and 4 pole deformation lighting which are obtained, respectively.

[0044] The diffracted-light study component 32 for zona-orbicularis deformation lighting changes into

the zona-orbicularis-like emission flux of light the parallel flux of light of the rectangle cross section which carries out incidence in accordance with an optical axis AX. After the emission flux of light of the shape of zona orbicularis through the diffracted-light study component 32 minds a zoom lens 4, incidence of it is carried out to the micro fly eyes 51 and 52 of a pair. In this way, a zona-orbicularis-like radiation field is formed in the plane of incidence of the micro fly eye 51 by the side of the light source. Consequently, the secondary light source of the shape of same zona orbicularis as the radiation field formed in the plane of incidence of the micro fly eye 51 by the side of the light source is formed in a backside [the micro fly eyes 51 and 52 of a pair] focal plane, and zona-orbicularis deformation lighting can be performed based on the flux of light from the secondary light source of the shape of this zona orbicularis.

[0045] On the other hand, the diffracted-light study component 33 for 4 pole deformation lighting changes into the 4 pole-like emission flux of light the parallel flux of light of the rectangle cross section which carries out incidence in accordance with an optical axis AX. After the emission flux of light of the shape of 4 poles through the diffracted-light study component 33 minds a zoom lens 4, incidence of it is carried out to the micro fly eyes 51 and 52 of a pair. In this way, a 4 pole-like radiation field is formed in the plane of incidence of the micro fly eye 51 by the side of the light source. Consequently, the secondary light source of the shape of same 4 poles as the radiation field formed in the plane of incidence of the micro fly eye 51 by the side of the light source is formed in a backside [the micro fly eyes 51 and 52 of a pair] focal plane, and 4 pole deformation lighting can be performed based on the flux of light from the secondary light source of the shape of these 4 poles. Thus, the diffracted-light study components 31-33 constitute the optical intensity-distribution modification means for changing into the multi-light source means forming 5 the optical intensity distribution of the flux of light which carries out incidence.

[0046] By the way, the aspheric surface is introduced into the refracting interface of each microlens element which constitutes the micro fly eyes 51 and 52 of a pair with this operation gestalt. Hereafter, this point is explained paying attention to the microlens elements 51a and 52a of a pair which should correspond in accordance with an optical axis AX in the micro fly eyes 51 and 52 of a pair. As shown in drawing 2 (b), microlens element 51a has both the convex configuration specified by the refracting interface m1 by the side of the light source, and the refracting interface m2 by the side of an irradiated plane, and microlens element 52a has both the convex configuration specified by the refracting interface m3 by the side of the light source, and the refracting interface m4 by the side of an irradiated plane.

[0047] With this operation gestalt, at least one of four above-mentioned refracting interfaces m1-m4 is formed in the shape of [symmetrical] the aspheric surface about an axis (medial-axis line) parallel to an optical axis AX. In this case, by installation of the aspheric surface, since the parameter on an optical design increases, the design solution to becomes is easy to be acquired, and especially a design degree of freedom improves remarkably from a viewpoint of aberration amendment. Therefore, in the synthetic optical system which consists of microlens elements 51a and 52a of a pair, generating of comatic aberration can be suppressed good by it not only suppressing generating of spherical aberration good, but satisfying sine condition mostly. Consequently, sine condition will be satisfied mostly, and the multi-light source means forming 5 which consists of micro fly eyes 51 and 52 of a pair can suppress generating of the illuminance nonuniformity resulting from the multi-light source means forming 5 good, and can fill the homogeneity of an illuminance and the homogeneity of numerical aperture in an irradiated plane with this operation gestalt to coincidence.

[0048] Hereafter, based on the concrete numerical example of the micro fly eyes 51 and 52 of a pair, it verifies about an operation of this operation gestalt. In addition, in the following numerical examples, four refracting interfaces m1-m4 shall be formed as a high gestalt of manufacturability in the shape of [which has the description same mutual completely] the aspheric surface. First, in a numerical example, the magnitude of each microlens element is set up with 0.54mmx0.2mm, and the refractive index n to the illumination light of each microlens element is set up with 1.508. Subsequently, both the shaft top thickness d1 of microlens element 51a and the shaft top thickness d3 of microlens element 52a are set up with 1.3mm, and the axial sky mind spacing d2 with the microlens elements 51a and 52a of a

pair is set up with 0.53mm.

[0049] And as mentioned above, four refracting interfaces m1-m4 are formed in the shape of [which has the same description mutually] the aspheric surface. In addition, when the aspheric surface sets the height of a direction perpendicular to a medial-axis line to y, distance (the amount of sags) which met the medial-axis line from the tangential plane of the top-most vertices of each aspheric surface in height y to each aspheric surface is set to S (y), the radius of curvature (top-most-vertices radius of curvature) of criteria is set to r and a cone constant is set to kappa, it is expressed with the following formulas (2).

$$S(y) = (y^2/r) / \{1 + (1 - \kappa y^2 / r^2)^{1/2}\} \quad (2)$$

[0050] Specifically, both the top-most-vertices radius of curvature r1 of the refracting interface m1 of microlens element 51a and the top-most-vertices radius of curvature r3 of the refracting interface m3 of microlens element 52a are set as 2.091 (mm-1). Moreover, both the top-most-vertices radius of curvature r2 of the refracting interface m2 of microlens element 51a and the top-most-vertices radius of curvature r4 of the refracting interface m4 of microlens element 52a are set as -2.091 (mm-1).

Furthermore, both the cone constants kappa of all the refracting interfaces m1-m4 are set as -2.49.

[0051] In this way, both the focal distance of microlens element 51a and the focal distance of microlens element 52a are set to 2.29mm, and the synthetic focal distance of microlens element 51a and microlens element 52a is set to 1.7mm. In the multi-light source means forming 5 which consists of micro fly eyes 51 and 52 of the pair constituted as mentioned above, spherical aberration is set to -0.025, a sine-condition dissatisfied amount is set to -0.002, and comatic aberration is set to -0.005. That is, it not only suppresses generating of spherical aberration good, but by satisfying sine condition mostly shows that it is possible to suppress generating of comatic aberration good by the above-mentioned numerical example which introduced the aspheric surface.

[0052] In addition, in drawing 2 (a), the diameter of the field 502 of a circle configuration in which the microlens element 500 is formed is prescribed to correspond to the maximum sigma value which should be set up, for example, is set as about 86mm. Therefore, if the size of the microlens element 500 is set up with 0.54mmx0.2mm as shown in an above-mentioned numerical example, the effective number of the microlens element 500 formed in the field 502 of a circle configuration will become about 50,000 pieces. In this case, since the very big wavefront-splitting effectiveness is acquired in the multi-light source means forming 5, generating of the illuminance nonuniformity on the mask 10 which is an irradiated plane, or a wafer 12 can be reduced. Consequently, even if it switches lighting conditions (modification of lighting parameters, such as a switch with circular lighting, zona-orbicularis deformation lighting, and 4 pole deformation lighting, lighting area size, and a sigma value, etc.), fluctuation of illuminance nonuniformity and change of telecentricity can be suppressed very small.

[0053] Since the very big wavefront-splitting effectiveness is acquired in the multi-light source means forming 5, it becomes unnecessary moreover, to arrange the lighting aperture diaphragm which has zona-orbicularis-like opening and 4 pole-like (shape of multipole [Generally]) opening in the location of a tris diaphragm 6 on the occasion of zona-orbicularis deformation lighting or 4 pole deformation lighting. Namely, what is necessary is just to change the diameter of opening of a tris diaphragm 6 if needed, and to interrupt the excessive flux of lights, such as flare light, without performing a switch with a circular aperture diaphragm, a zona-orbicularis-like aperture diaphragm, and a 4 pole-like aperture diaphragm in linkage like the conventional technique, even if it performs a switch with circular lighting, zona-orbicularis deformation lighting, and 4 pole deformation lighting. If it puts in another way, arrangement of the lighting aperture diaphragm called the so-called sigma diaphragm can be omitted, and a configuration can be simplified.

[0054] In addition, in this invention, in order to acquire sufficient wavefront-splitting effectiveness, it is desirable that the effective number of the microlens element which constitutes one micro fly eye is 1000 or more pieces. In order to heighten the wavefront-splitting effectiveness furthermore, it is desirable that the effective number of a microlens element is 50000 or more pieces. Here, the effective number of the microlens element which constitutes one micro fly eye corresponds to the number of synthetic optical system, and the number of medial-axis lines (optical axis) parallel to the optical axis AX of each microlens element, as a result supports the number of wavefront splitting of the multi-light source means

forming 5.

[0055] By the way, it is important to carry out alignment of the microlens element of a pair which the multi-light source means forming 5 is constituted from this operation gestalt by the micro fly eyes 51 and 52 of a pair, and should correspond in accordance with an optical axis AX since the size and the focal distance of each microlens element are very small mutually, i.e., to carry out alignment of the micro fly eyes 51 and 52 of a pair mutually. It is necessary to carry out alignment of the microlens element of a pair which should correspond, without [without it specifically carries out an advancing-side-by-side location gap two-dimensional into the field which intersects perpendicularly with an optical axis AX, and] carrying out a rotation location gap into the field which intersects perpendicularly with an optical axis AX at the circumference of an optical axis AX.

[0056] So, with this operation gestalt, as shown in drawing 2 (a), four alignment marks 503 are formed in the micro fly eyes 51 and 52 as an alignment means with the micro fly eyes 51 and 52 of a pair, respectively. Four alignment marks 503 are formed in the location corresponding to four square angles by vapor-depositing chromium on the outside of the field 502 of a circle configuration in which many microlens elements 500 were formed. Each alignment mark 503 has the location precision of about 1 micrometer, and is formed, and the magnitude is about 2mm.

[0057] Thus, the micro fly eyes 51 and 52 in which the alignment mark 503 was formed are supported by the attachment component 504 as shown in drawing 3, and are positioned in the condition of having been attached all over the illumination-light way at another attachment component (un-illustrating). Opening 504a of the circle configuration corresponding to the field 502 of a circle configuration and opening 504b of four circle configurations corresponding to four alignment marks 503 are formed in the attachment component 504. Moreover, the drive system 505 which consisted of two or more micrometers is connected to the attachment component 504. And according to an operation of this drive system 505, while carrying out minute migration of the attachment component 504 positioned all over the illumination-light way along the direction of X, and the direction of Y, respectively, minute rotation of it is carried out at the circumference of an optical axis AX.

[0058] On the occasion of alignment with the micro fly eyes 51 and 52 of a pair, four alignment marks formed in four alignment marks and the micro fly eye 52 which were formed in the micro fly eye 51 are observed through viewing or a magnifier, a microscope, etc. And at least one side of the attachment components of a pair is made to move slightly by the drive system 505 so that a corresponding alignment mark may be in agreement along the optical-axis AX direction. In this way, alignment of the microlens element of a pair which should correspond in accordance with carrying out alignment of the micro fly eyes 51 and 52 of a pair mutually, as a result an optical axis AX can be carried out mutually. In addition, it is good also as movable in the both sides of the attachment component 504 of a pair, and one side of the attachment component 504 of a pair is made movable, and it is good also considering another side as immobilization.

[0059] In addition, how to observe a location gap of the microlens element of a pair which corresponds as other alignment approaches using an angle measuring equipment like an autocollimator can be considered. By this approach, after initializing an autocollimator in the condition of not inserting the micro fly eyes 51 and 52 of a pair all over an illumination-light way, the micro fly eyes 51 and 52 of a pair are inserted all over an illumination-light way, and alignment is performed based on the transmitted light flux of the microlens element of a pair. Moreover, the method of performing alignment is also considered by reading a location gap of the microlens element of a pair which observes the transmitted light flux of the microlens element of a pair under a microscope etc., and is observed within the visual field.

[0060] It is known for illumination-light study equipment like this operation gestalt that will originate in the include-angle property of the antireflection film given to each lens which constitutes the zoom lens 7 as capacitor optical system etc., and illuminance nonuniformity will occur. Here, an antireflection film vapor-deposits the thin film of the dielectric of two or more sheets on a lens front face, and is formed in it, amplitude splitting of the reflected light is carried out, and the reflected light is erased by shifting the phase of much light and making it interfere. Since it is controlled by membranous thickness, if whenever

[incident angle / of the flux of light] differ, a difference will generate how to shift a phase in the effectiveness of acid resisting. Generally by the optical system which uses a lens, the beam of light which penetrates the lens circumference bends more greatly, and an incident angle is large. On the other hand, since the antireflection film is designed to vertical incidence, light with a larger incident angle is easy to be reflected. Consequently, an illuminance serves as the inclination to fall in the shape of second [about] curve, so that image quantity is large in an irradiated plane, namely, as it separates from an optical axis.

[0061] With this operation gestalt, the illuminance nonuniformity which originates in the include-angle property of an above-mentioned antireflection film etc., and is generated can be amended by arranging the filter with which the dot pattern of chromium was formed in the field by the side of the irradiated plane of cover glass 53. Here, the dot pattern formed in the field of the shape of a minute rectangle corresponding to the plane of incidence of each microlens element which constitutes the micro fly eye 51 by the side of the light source is constituted so that the permeability of the core may be the smallest and permeability may increase gradually toward the circumference. It is necessary to carry out alignment of the minute dot pattern field of the shape of a rectangle formed in cover glass 53 also in this case, and each microlens element of the micro fly eye 51 by the side of the light source. This alignment can be performed like the alignment of the micro fly eye of a pair by forming in cover glass 53 the alignment mark mentioned above.

[0062] In addition, an above-mentioned filter can be optically arranged near the field [****] with an irradiated plane, without being limited to the plane of incidence of the micro fly eye 51 by the side of the light source. Moreover, an above-mentioned dot pattern can also be directly formed in the plane of incidence of each microlens element which constitutes the micro fly eye 51 by the side of the light source. Moreover, above-mentioned illuminance nonuniformity can be amended by replacing with the cover glass 53 with which the dot pattern was formed, and arranging the filter with which permeability differs according to an incident angle in the pupil location (for example, the location or its conjugation side of a tris diaphragm 6) of illumination-light study equipment.

[0063] Furthermore, how to amend above-mentioned illuminance nonuniformity is also considered by moving some lenses in the direction of an optical axis among two or more lenses which constitute the zoom lens 7 as capacitor optical system. However, many aberration like distortion (distortion aberration) not only occurs, but by this approach, lighting parameters, such as a sigma value, will change with change of the focal distance of a zoom lens 7. Moreover, as mentioned above, illuminance nonuniformity may be slightly changed with a switch of lighting conditions. In this case, on the occasion of a switch of lighting conditions, fluctuation of illuminance nonuniformity can also be amended by performing a switch of an above-mentioned filter etc.

[0064] In addition, in an above-mentioned operation gestalt, although the micro fly eye of the arranged pair which separated spacing constitutes multi-light source means forming, at least two arranged optical element bundles which generally separated spacing can also constitute multi-light source means forming. Here, an optical element bundle is a concept containing the 2-dimensional array of a lens side, or the 2-dimensional array of a reflector. Moreover, in an above-mentioned operation gestalt, although the micro fly eye is formed by etching processing, a micro fly eye can also be formed, for example by the indentation method or the grinding method.

[0065] Furthermore, in an above-mentioned operation gestalt, although the micro fly eye of a pair separates air spacing and is arranged, the spacing space can also be filled with inert gas or optical glass. In addition, when using the light source which supplies ultraviolet radiation shorter than predetermined wavelength, it is desirable to form a wavefront-splitting mold optical integrator using quartz glass or fluorite. Moreover, in an above-mentioned operation gestalt, although the micro fly eye is used as a wavefront-splitting mold optical integrator, a wavefront-splitting mold optical integrator like a fly eye lens can also be used, for example. In this case, in order to acquire sufficient wavefront-splitting effectiveness, it is desirable to constitute a fly eye lens from a sufficient number of lens elements.

[0066] Furthermore, in an above-mentioned operation gestalt, although it constitutes so that the diffracted-light study component as an optical intensity-distribution modification means may be

positioned all over an illumination-light way by the turret method, an above-mentioned diffracted-light study component can also be switched, for example using a well-known slider style. By the way, the detailed explanation about the diffracted-light study component which can be used by this invention is indicated by the U.S. Pat. No. 5,850,300 official report etc. Moreover, with an above-mentioned operation gestalt, although the diffracted-light study component is used as an optical intensity-distribution modification means, a wavefront-splitting mold optical integrator like a fly eye lens or a micro fly eye can also be used, for example.

[0067] Furthermore, with the above-mentioned operation gestalt, after it once forms a radiation field in a mask 10 and a predetermined side [****] and the mask blind 8 restricts the flux of light from this radiation field, the radiation field is formed on a mask 10 through the relay optical system 9. However, the configuration which forms a radiation field directly on the mask 10 which omitted the relay optical system 9 and has been arranged in the location of the mask blind 8 through a zoom lens 7 is also possible. Moreover, although the above-mentioned operation gestalt shows the example which forms the secondary 4 pole-like light source, the secondary 2 pole (the 2nd)-like light source or the secondary light source of the shape of a multipole like the shape of 8 poles (the 8th) can also be formed, for example.

[0068] Furthermore, with an above-mentioned operation gestalt, although KrF excimer laser (wavelength: 248nm) and ArF excimer laser (wavelength: 193nm) are used as the light source, this invention is applicable also to the suitable light source which supplies other wavelength light containing g line or i line. Moreover, although the above-mentioned operation gestalt explained this invention taking the case of the projection aligner equipped with illumination-light study equipment, it is clear that this invention is applicable to the common illumination-light study equipment for carrying out homogeneity lighting of the irradiated planes other than a mask.

[0069]

[Effect of the Invention] With the illumination-light study equipment of this invention, as explained above, since the parameter on an optical design increases by introducing the aspheric surface into each microlens element of a wavefront-splitting mold optical integrator, the design solution to becomes is easy to be acquired, and especially a design degree of freedom improves remarkably from a viewpoint of aberration amendment. Therefore, in a wavefront-splitting mold optical integrator, generating of comatic aberration can be suppressed good by it not only suppressing generating of spherical aberration good, but satisfying sine condition mostly. Consequently, generating of the illuminance nonuniformity resulting from the wavefront-splitting mold optical integrator as multi-light source means forming can be suppressed good, and the homogeneity of an illuminance and the homogeneity of numerical aperture in an irradiated plane can be fulfilled to coincidence.

[0070] Therefore, the homogeneity of an illuminance and the homogeneity of numerical aperture in the exposure side of the photosensitive substrate which is an irradiated plane can be filled with the projection aligner incorporating the illumination-light study equipment of this invention to coincidence. Consequently, good high projection exposure of a throughput can be performed under good exposure conditions. Moreover, by the exposure approach which exposes the pattern of the mask arranged on an irradiated plane using the illumination-light study equipment of this invention on a photosensitive substrate, since projection exposure can be performed under good exposure conditions, good micro devices (a semiconductor device, an image sensor, a liquid crystal display component, thin film magnetic head, etc.) can be manufactured.

[Translation done.]

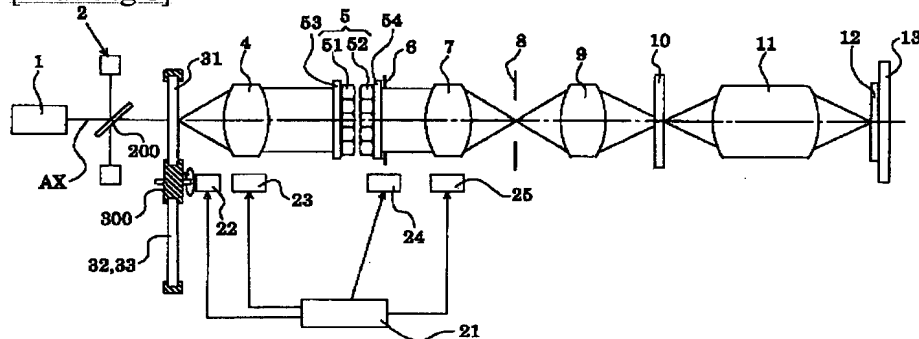
* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

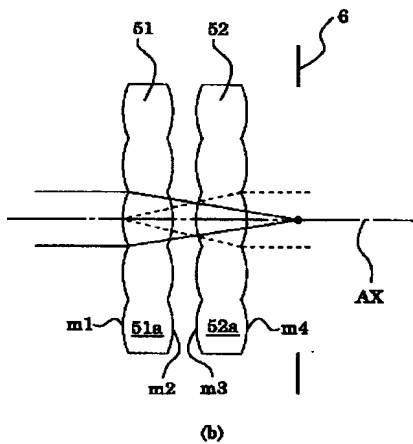
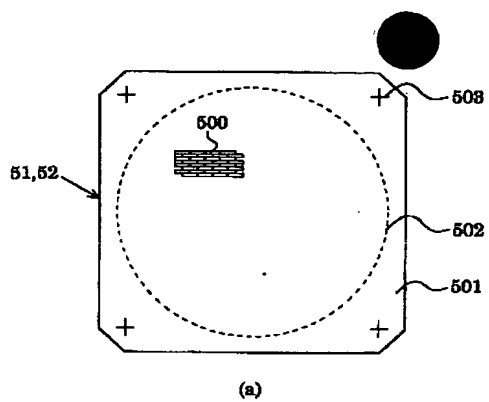
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

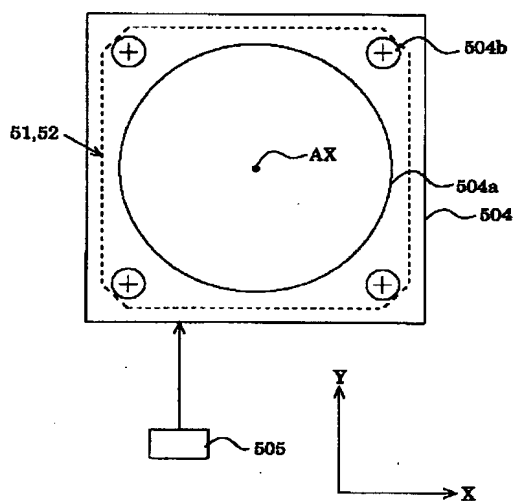
[Drawing 1]



[Drawing 2]



[Drawing 3]



[Translation done.]